

Pemetaan Klasifikasi Tanah di Kampus 1 Universitas Negeri Malang Menggunakan Metode *Cone Penetration Test* (CPT)

Mohammad Musthofa Al Ansyorie¹, Ir Diding Suhardi, MT., IPM., ASEAN Eng²

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No 5 Kota Malang

² Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Mohammad Musthofa Al Ansyorie

Jl. Semarang No 5 Kota Malang

E-mail: musthofansyorie@gmail.com

Abstrak

Universitas Negeri Malang sebagai salah satu kampus dengan status Perguruan Tinggi Negeri Berbadan Hukum (PTNBH) memiliki beberapa Rencana Strategis (*renstra*) yang salah satunya adalah pengembangan sarana dan prasarana. Salah satu bentuk pengembangan sarana dan prasarana tersebut adalah penyediaan bangunan sebagai sarana akademik, hal tersebut tertuang dalam Rencana Induk Pengembangan (RIP) Universitas Negeri Malang. Ketersediaan lahan di Kampus 1 Universitas Negeri Malang mendukung pembangunan-pembangunan gedung khususnya bangunan tinggi. Salah satu persyaratan utama dalam pembangunan gedung tinggi adalah daya dukung tanah yang ada sesuai dengan kedudukan bangunan tersebut. Guna memenuhi persyaratan tersebut dibutuhkan analisis daya dukung tanah dengan cara penyelidikan tanah dengan metode sondir. Metode penelitian yang digunakan dalam kegiatan ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan metode yang digunakan adalah metode sondir. Hasil penelitian ini diantaranya adalah (a) kedalaman tanah keras yang ada di kampus 1 Universitas Negeri Malang berada pada rentang antara 4,60 m sampai dengan 8,40 m, (b) rata-rata nilai q_c untuk area 1 kampus 1 UM sebesar 233,33 kg/cm², rata-rata nilai q_c area 2 sebesar 260 kg/cm², rata-rata nilai q_c area 3 sebesar 246,67 kg/cm², dan rata-rata nilai q_c area 4 sebesar 206,67 kg/cm², (c) klasifikasi tanah yang terdapat di kampus 1 UM termasuk pada jenis tanah pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat pada setiap kedalaman tanah keras yang diambil berdasarkan nilai q_c .

Kata kunci: klasifikasi, tanah, uji, sondir

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah mahasiswa di Universitas Negeri Malang (UM) berdasarkan data yang dirilis pada laman *statistik.um.ac.id* pada Januari tahun 2024 mengalami peningkatan sebesar 2,36% [1]. Pada semester genap tahun 2022 diketahui UM memiliki mahasiswa sebanyak 42,824 orang yang meningkat menjadi 43,836 pada Januari tahun 2024. Peningkatan jumlah mahasiswa tersebut tentunya harus diiringi dengan penyediaan sarana dan prasarana penunjang pembelajaran yang salah satunya berupa gedung perkuliahan dan gedung pelayanan akademik lainnya. UM sebagai salah satu kampus dengan status Perguruan Tinggi Negeri Berbadan Hukum (PTNBH) memiliki beberapa Rencana Strategis (*renstra*) yang salah satunya adalah pengembangan sarana dan prasarana. Salah satu bentuk pengembangan sarana dan prasarana tersebut adalah penyediaan bangunan sebagai sarana akademik, hal tersebut tertuang dalam Rencana Induk Pengembangan (RIP) Universitas Negeri Malang. Ketersediaan lahan di Kampus 1 Universitas Negeri Malang mendukung pembangunan-pembangunan gedung baik bangunan gedung tinggi atau rendah.

Berdasarkan data rencana pembangunan penunjang kegiatan akademik di UM di tahun 2024 terdapat beberapa rencana pekerjaan konstruksi yang tersebar di beberapa lokasi di kawasan kampus 1 UM. Kampus 1 UM sendiri memiliki total luas lahan 46,39 ha. Persebaran rencana pembangunan hampir merata di beberapa titik dilahan kampus 1 UM. Dilihat dari rencana bangunan yang akan dikerjakan pun memiliki ketinggian yang berbeda mulai dari bangunan 2 lantai sampai dengan 7 lantai. Perbedaan ketinggian ataupun jumlah lantai tersebut tentunya harus didukung oleh daya dukung tanah yang sesuai.

Salah satu persyaratan utama dalam proses konstruksi bangunan gedung adalah klasifikasi tanah dan daya dukung tanah yang ada sesuai dengan kedudukan bangunan tersebut. Guna memenuhi persyaratan tersebut dibutuhkan analisis klasifikasi tanah dan daya dukung tanah dengan beberapa metode penyelidikan tanah. Metode penyelidikan tanah yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan Cone Penetration Test (CPT) atau yang lebih dikenal dengan uji sondir. Menurut Fahriani (2020)

kapasitas daya dukung tanah dapat dihitung dengan menggunakan hasil uji sondir atau uji penetrasi kerucut [2]. Hasil uji sondir sendiri didapatkan nilai hambatan konus, dimana menurut Hardiyatmo (2010) pengujian langsung dilapangan dapat memperoleh nilai hambatan konus (q_c) yang dapat dihubungkan dengan nilai kapasitas daya dukung tanah [3]. Lebih lanjut Achmad (2012) menjelaskan bahwa dalam menentukan pondasi yang digunakan dalam proses pembangunan infrastruktur perlu dilakukan analisis daya dukung tanah [4]. Selain itu juga nilai rasio gesekan tanah yang didapatkan dari perhitungan data hasil uji sondir bisa dijadikan sebagai data dalam desain pondasi bangunan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai rasio gesekan tanah yang diperoleh berdasarkan nilai hambatan konus dari pengujian sondir dan mengetahui klasifikasi tanah yang berada di kawasan kampus 1 Universitas Negeri Malang. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memetakan klasifikasi tanah dengan metode sondir di kawasan kampus 1 UM. Hal tersebut dikarenakan sejauh ini belum ada penelitian mengenai klasifikasi tanah berdasarkan hasil uji sondir. Setelah diperoleh nilai hambatan konus dan rasio gesekan tanah pada beberapa area di kawasan kampus 1 UM dilanjutkan dengan pengklasifikasian tanah sehingga berdasarkan data tersebut dapat digunakan sebagai referensi dalam proses perencanaan konstruksi khususnya di kawasan kampus 1 UM.

a. Pengujian Sondir

Pengujian Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) menurut Ridhayani & Saputra (2018) merupakan salah satu penyelidikan tanah di lapangan yang bertujuan untuk memperkirakan kedalaman lapisan tanah keras. Selain itu, pengujian tanah dengan metode uji sondir bertujuan untuk mengetahui sifat fisik tanah dalam keadaan asli dan klasifikasi tanah serta nilai kapasitas daya dukung tanah sebagai dasar desain pondasi bangunan. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah [2][5]. Menurut Raharjo (2008) hasil pengambilan data dengan uji sondir yang diperoleh dilapangan bersifat empiris [3]. Pengujian Sondir dilaksanakan untuk mendapatkan perlawanan penetrasi *Conus* dan hambatan lekat tanah pada kedalaman tertentu [5]. Menurut Martinelli dan Galavi (2021) Pengujian CPT merupakan salah satu pengujian in-situ yang banyak digunakan pada pengujian karakteristik geoteknik di suatu tempat karena kemudahannya [6]. Uji sondir pada umumnya dilakukan pada tanah kohesif [7]. Sehingga di Wilayah Indonesia sendiri jenis uji ini merupakan salah satu yang tepat digunakan.

1) Hambatan Konus (q_c)

Hambatan konus atau tahanan ujung (q_c) adalah nilai perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas [8]. Besarnya nilai ini seringkali menunjukkan identifikasi dari jenis tanah dan konsistensinya [9]. Pada tanah pasiran, hambatan ujung jauh lebih besar dari tanah berbutir halus. Pada pasir padat (dense) dan sangat padat (very dense), sondir ringan umumnya tidak dapat menembus lapisan ini [10].

2) Gesekan Selimut (f_s)

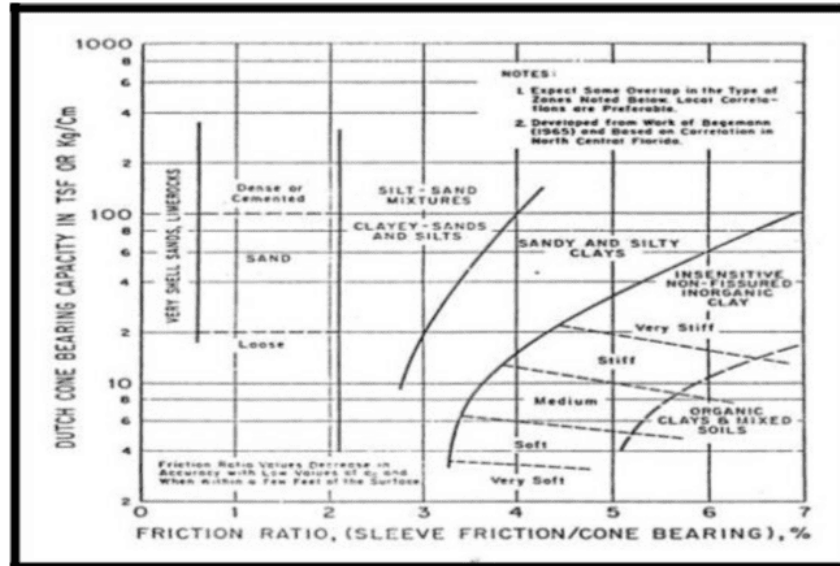
Gesekan selimut merupakan perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus (sleeve friction) dalam gaya persatuan panjang. Tahanan lekat didapatkan dari hasil pengurangan nilai bikonus dan nilai konus. Nilai f_s dapat menggambarkan klasifikasi tanah. Selain itu rasio f_s dan q_c yang dikenal dengan nama rasio gesekan (R_f) dapat digunakan untuk membedakan tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar [3]. Nilai f_s dapat memberikan keuntungan yang besar terhadap interpretasi hasil uji sondir pada klasifikasi tanah. Dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah berbutir kasar mempunyai nilai R_f yang kecil (<2%), sementara untuk tanah berbutir halus (lanau dan lempung) nilai R_f lebih tinggi.

3) Rasio Gesekan (R_f)

Perbandingan antara perlawanan geser (f_s) dan hambatan konus (q_c) yang dikenal dengan nama rasio gesekan (R_f) dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar (Rahardjo, 2008). Berdasarkan penelitian para pakar sondir, tanah butir kasar ternyata mempunyai rasio gesekan (R_f) yang kecil (umumnya lebih kecil 2%), sedangkan pada tanah berbutir halus (lanau dan lempung) nilai rasio gesekan tersebut lebih tinggi.

b. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Hasil Uji Sondir

Berdasarkan perbedaan rasio gesekan (R_f) pada berbagai jenis tanah, Begemann secara sederhana melakukan klasifikasi tanah dengan memperhatikan besarnya tahanan ujung (q_c). Demikian pula yang dilakukan Schmertmann telah mengumpulkan data dalam jumlah yang cukup besar dan mengklasifikasi tanah berdasarkan harga tahanan ujung (q_c) dan rasio gesekan (R_f). Adapun pengklasifikasian tanah menurut pakar tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Hasil Uji Sondir

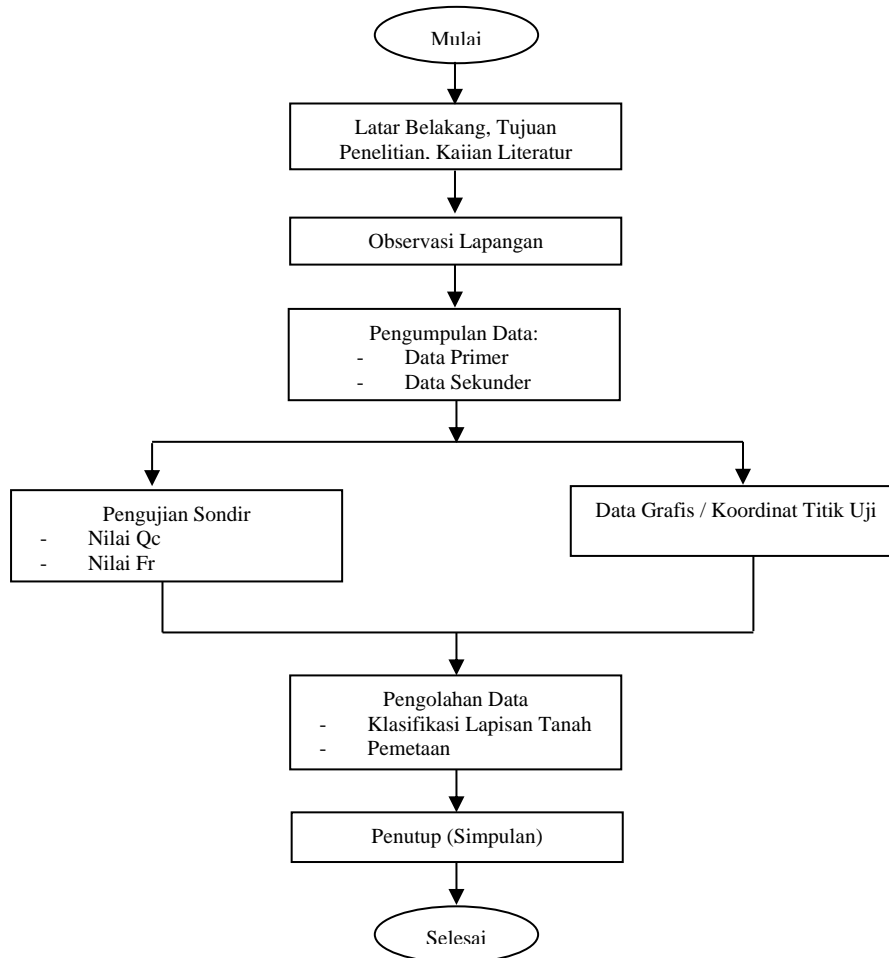
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir
Sumber: Sidabutar, dkk, 2023 dan Das, 1995

Hasil Sondir		Klasifikasi Tanah
q_c	f_s	
6,0	0,15 - 0,4	Humus, lempung sangat lunak
6,0 - 10,0	0,2	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,2 - 0,6	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 - 30,0	0,1	Kerikil lepas
	0,1 - 0,4	Pasir lepas
	,4 - 0,6	Lempung atau lempung kelanauan
30,0 - 60,0	0,8 - 2,0	Lempung agak kenyal
	1,5	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 - 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60,0 - 150,0	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 - 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kerikil kenyal
150,0 - 300,0	1,0 - 2,0	Pasir padat, pasir kerikilan, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat

2. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif, dimana data yang diperoleh dan dianalisis merupakan data berupa angka-angka dan proses serta metode penelitian yang dilakukan sesuai dengan kaidah penelitian kuantitatif. Adapun metode penelitian yang secara spesifik digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian lapangan (*field research*). Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian lapangan ini diantaranya observasi dan pengujian langsung di lapangan (*in situ test*). Observasi dilakukan untuk menentukan lokasi titik pengujian yang akan dilakukan,

sedangkan untuk *in situ test* dilakukan pada saat pengujian dilakukan berdasarkan hasil observasi. Pengujian lapangan dilakukan dengan metode sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*). Alur penelitian yang dilakukan digambarkan pada Gambar 2 berikut ini.

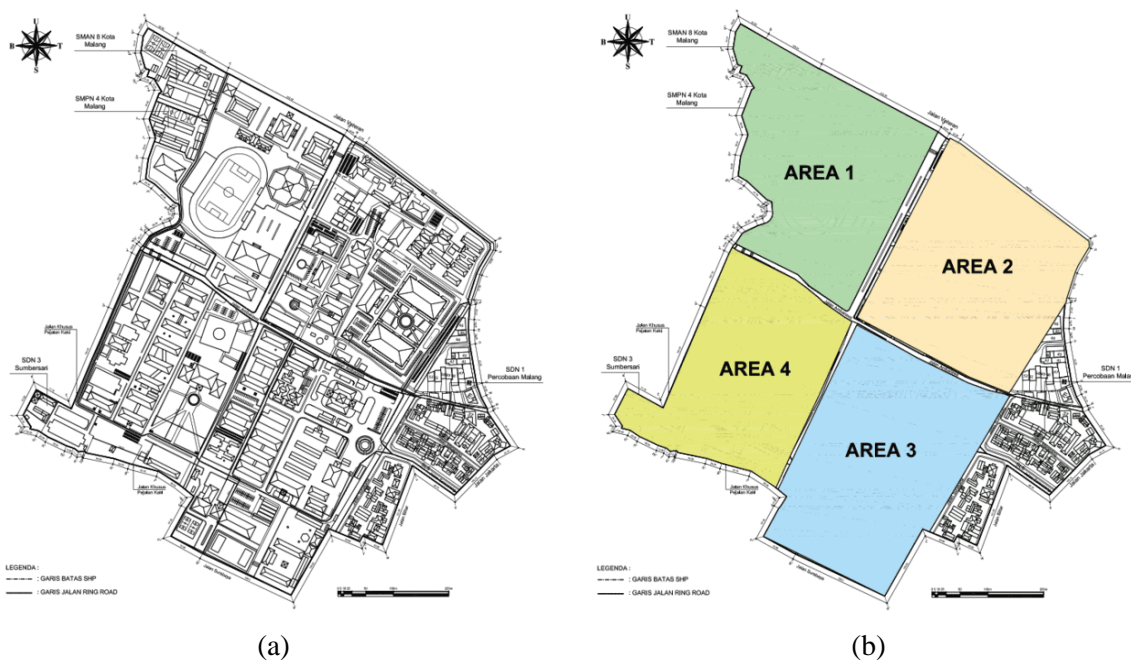


Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan berada di kawasan Kampus 1 Universitas Negeri Malang yang beralamatkan di Jalan Semarang No 5 Kota Malang. Kawasan Kampus 1 Universitas Negeri Malang memiliki total luas lahan sebesar 463,992 m² atau sekitar 46,399 hektar yang kemudian dibagi menjadi 4 bagian yakni area 1 (UM bagian Utara-Barat), area 2 (UM bagian Utara-Timur), area 3 (UM bagian Selatan-Timur), dan area 4 (UM bagian Selatan-Barat). Pada setiap area dilakukan pengujian sebanyak 3 Titik Sondir, sehingga total jumlah titik sondir yang dilakukan sebanyak 12 titik sondir. Adapun pembagian area pada kawasan kampus 1 UM dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Citra Satelit Kawasan Kampus 1 Universitas Negeri Malang (UM)



Gambar 4. (a) Gambar Kawasan UM (b) Gambar Ploting Area Pengujian

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan teknik observasi dan dokumentasi hasil pengujian sondir yang dilakukan. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan form pengujian yang dikeluarkan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan (DTSP) Fakultas Teknik (FT) Universitas Negeri Malang yang diadopsi dari SNI 2827:2008 seperti pada Gambar 5. Alat yang digunakan untuk pengambilan data adalah alat sondir tipe hidrolis merk MBT milik Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil FT UM yang memiliki kapasitas 2,5 ton. Proses pengujiannya sendiri yaitu dengan cara menekan konus berbentuk kerucut ke dalam tanah menggunakan meisn sondir. Konus yang berbentuk kerucut ini

Area 1				TS 1
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,80	10,00	0,80	8,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
1,00	12,00	0,80	6,67	
1,20	14,00	1,00	7,14	
1,40	14,00	1,00	7,14	
1,60	12,00	1,20	10,00	
1,80	20,00	1,00	5,00	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
2,00	16,00	0,60	3,75	
2,20	24,00	1,20	5,00	
2,40	20,00	8,00	40,00	
2,60	30,00	7,00	23,33	
2,80	20,00	2,00	10,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
3,00	38,00	1,60	4,21	
3,20	16,00	3,40	21,25	
3,40	12,00	3,60	30,00	
3,60	20,00	4,40	22,00	
3,80	26,00	5,00	19,23	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
4,00	34,00	5,20	15,29	
4,20	34,00	5,60	16,47	
4,40	38,00	6,20	16,32	
4,60	30,00	8,00	26,67	
4,80	40,00	9,00	22,50	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
5,00	50,00	10,00	20,00	
5,20	50,00	10,00	20,00	
5,40	30,00	11,00	36,67	
5,60	30,00	13,00	43,33	
5,80	30,00	13,00	43,33	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
6,00	30,00	13,00	43,33	
6,20	20,00	13,00	65,00	
6,40	20,00	13,00	65,00	
6,60	20,00	14,00	70,00	
6,80	20,00	14,00	70,00	
7,00	20,00	14,00	70,00	
7,20	20,00	12,00	60,00	
7,40	20,00	12,00	60,00	
7,60	20,00	14,00	70,00	
7,80	40,00	16,00	40,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
8,00	160,00	14,00	8,75	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
8,20	200,00	10,00	5,00	
8,40	200,00	12,00	6,00	

Tabel 3. Hasil Pengujian Sondir Titik 2 Area 1

Area 1				TS 2
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	5,00	0,50	10,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	10,00	1,00	10,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
0,60	10,00	1,00	10,00	
0,80	12,00	0,80	6,67	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,00	20,00	0,40	2,00	
1,20	20,00	2,00	10,00	
1,40	20,00	1,00	5,00	
1,60	12,00	0,60	5,00	

Area 1				TS 2
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
1,80	10,00	1,00	10,00	
2,00	20,00	0,60	3,00	
2,20	20,00	2,00	10,00	
2,40	20,00	2,00	10,00	
2,60	26,00	1,80	6,92	
2,80	24,00	2,80	11,67	
3,00	26,00	4,40	16,92	
3,20	34,00	4,60	13,53	
3,40	38,00	6,20	16,32	
3,60	40,00	6,00	15,00	
3,80	40,00	8,00	20,00	
4,00	40,00	10,00	25,00	
4,20	40,00	10,00	25,00	
4,40	40,00	10,00	25,00	
4,60	40,00	10,00	25,00	
4,80	40,00	10,00	25,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
5,00	60,00	12,00	20,00	
5,20	40,00	10,00	25,00	
5,40	40,00	10,00	25,00	
5,60	40,00	10,00	25,00	
5,80	40,00	10,00	25,00	
6,00	40,00	10,00	25,00	
6,20	40,00	8,00	20,00	
6,40	40,00	10,00	25,00	
6,60	60,00	14,00	23,33	
6,80	100,00	10,00	10,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
7,00	120,00	14,00	11,67	
7,20	160,00	14,00	8,75	
7,40	200,00	12,00	6,00	Pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
7,60	240,00	12,00	5,00	
7,80	260,00	16,00	6,15	

Tabel 4. Hasil Pengujian Sondir Titik 3 Area 1

Area 1				TS 3
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,40	6,00	0,20	3,33	
0,60	6,00	0,80	13,33	Humus, lempung sangat lunak
0,80	6,00	1,00	16,67	
1,00	10,00	0,60	6,00	
1,20	10,00	0,80	8,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
1,40	10,00	0,80	8,00	
1,60	12,00	0,80	6,67	
1,80	12,00	1,00	8,33	
2,00	12,00	1,20	10,00	
2,20	18,00	2,20	12,22	
2,40	20,00	2,20	11,00	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
2,60	22,00	2,60	11,82	
2,80	24,00	2,80	11,67	
3,00	26,00	3,60	13,85	
3,20	30,00	5,00	16,67	

Area 1				TS 3
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
3,40	30,00	4,80	16,00	
3,60	32,00	5,00	15,63	
3,80	36,00	5,00	13,89	
4,00	40,00	4,60	11,50	
4,20	40,00	5,00	12,50	
4,40	40,00	5,20	13,00	
4,60	40,00	6,00	15,00	
4,80	40,00	8,00	20,00	
5,00	60,00	8,00	13,33	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
5,20	60,00	8,00	13,33	
5,40	60,00	8,00	13,33	
5,60	60,00	8,00	13,33	
5,80	60,00	8,00	13,33	
6,00	60,00	8,00	13,33	
6,20	60,00	10,00	16,67	
6,40	60,00	12,00	20,00	
6,60	100,00	10,00	10,00	
6,80	120,00	8,00	6,67	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
7,00	120,00	12,00	10,00	
7,20	180,00	12,00	6,67	
7,40	200,00	10,00	5,00	Pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
7,60	240,00	10,00	4,17	

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa TS1 merupakan titik pengujian yang paling dalam dan TS3 merupakan titik pengujian sondir yang paling dangkal. Dari ketiga titik pengujian perbedaan yang cukup signifikan yakni antara TS1 dengan TS3, sedangkan antara TS2 dengan TS3 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Ketiga titik menunjukkan nilai qc rata-rata sebesar 233,33 kg/cm², sehingga berdasarkan nilai tersebut klasifikasi tanah pada area tersebut tergolong pada tanah jenis pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat.

Hasil pengambilan data pada area 2 yang berada pada bagian utara-timur kampus 1 UM dan lebih tepatnya pada lokasi rencana pembangunan gedung parkir bertingkat area Gedung Kuliah Bersama (GKB) UM terdiri dari 3 titik sondir. Hasil pada TS1 diketahui kedalaman tanah keras diprediksi di kedalaman 4,80 m dengan hasil qc sebesar 260 kg/cm², fs sebesar 24 kg/cm² dan Fr sebesar 9,23%. Pada TS2 diketahui kedalaman tanah keras berada pada kedalaman 4,6 m dengan nilai qc sebesar sebesar 260 kg/cm², fs sebesar 24 kg/cm² dan Fr sebesar 9,23%. Hasil pada TS3 diketahui prediksi tanah keras berada pada kedalaman 4,80 m dengan hasil qc sebesar 260 kg/cm², fs sebesar 16 kg/cm² dan Fr sebesar 6,15%.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sondir Titik 1 Area 2

Area 2				TS 1
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,40	2,00	0,40	20,00	Humus, lempung sangat lunak
0,60	7,00	0,70	10,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
0,80	20,00	1,80	9,00	
1,00	17,00	3,30	19,41	
1,20	22,00	3,40	15,45	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,40	22,00	5,40	24,55	
1,60	27,00	4,60	17,04	
1,80	40,00	3,00	7,50	
2,00	60,00	6,00	10,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan

2,20	60,00	4,00	6,67	
2,40	60,00	2,50	4,17	
2,60	40,00	4,50	11,25	
2,80	58,00	1,20	2,07	
3,00	42,00	4,50	10,71	
3,20	28,00	3,20	11,43	
3,40	26,00	4,00	15,38	
3,60	26,00	3,40	13,08	
3,80	26,00	3,40	13,08	
4,00	40,00	4,00	10,00	
4,20	78,00	2,20	2,82	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
4,40	90,00	21,00	23,33	
4,60	200,00	20,00	10,00	Pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
4,80	260,00	24,00	9,23	

Tabel 6. Hasil Pengujian Sondir Titik 2 Area 2

Area 2				TS 2
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	2,00	0,40	20,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	2,00	0,60	30,00	
0,60	22,00	1,80	8,18	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
0,80	14,00	3,20	22,86	
1,00	24,00	2,40	10,00	
1,20	20,00	4,40	22,00	
1,40	22,00	5,80	26,36	
1,60	60,00	8,00	13,33	
1,80	60,00	10,00	16,67	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
2,00	60,00	8,00	13,33	
2,20	60,00	4,00	6,67	
2,40	40,00	10,00	25,00	
2,60	40,00	10,00	25,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
2,80	80,00	8,00	10,00	
3,00	40,00	10,00	25,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
3,20	40,00	12,00	30,00	
3,40	40,00	10,00	25,00	
3,60	80,00	14,00	17,50	
3,80	120,00	18,00	15,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
4,00	180,00	16,00	8,89	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
4,20	90,00	21,00	23,33	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
4,40	200,00	20,00	10,00	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
4,60	260,00	24,00	9,23	
4,80				

Tabel 7. Hasil Pengujian Sondir Titik 3 Area 2

Area 2				TS 3
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	4,00	0,40	0,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	10,00	0,20	2,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
0,60	12,00	1,40	11,67	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
0,80	18,00	2,20	12,22	
1,00	36,00	2,40	6,67	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan

1,20	40,00	2,20	5,50	
1,40	40,00	3,00	7,50	
1,60	42,00	3,80	9,05	
1,80	42,00	3,80	9,05	
2,00	40,00	6,00	15,00	
2,20	40,00	6,00	15,00	
2,40	40,00	7,00	17,50	
2,60	40,00	6,00	15,00	
2,80	40,00	7,00	17,50	
3,00	60,00	6,00	10,00	
3,20	60,00	6,00	10,00	
3,40	60,00	6,00	10,00	
3,60	60,00	8,00	13,33	
3,80	60,00	8,00	13,33	
4,00	80,00	8,00	10,00	
4,20	80,00	8,00	10,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
4,40	100,00	10,00	10,00	
4,60	200,00	20,00	10,00	
4,80	260,00	16,00	6,15	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat

Berdasarkan hasil pengujian sondir pada area 2 diketahui bahwa antara TS1, TS2 dan TS3 tidak menunjukkan kedalaman prediksi tanah keras yang sangat signifikan. Perbedaan hanya terdapat pada TS2 yakni pada kedalaman 4,60 m sedangkan untuk TS1 dan TS3 berada pada kedalaman yang sama yakni 4,80 m, sehingga hanya terdapat selisih kedalaman 0,2 m antara TS1 dan TS3 dengan TS2. Pada kedalaman masing-masing titik memiliki nilai q_c yang sama yakni sebesar 260 kg/cm², melihat nilai tersebut klasifikasi tanah untuk di area 2 menunjukkan jenis tanah pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat.

Hasil pengambilan data pada area 3 yang berada pada bagian selatan-timur kampus 1 UM dan lebih tepatnya pada lokasi Fakultas Ilmu Sosial dan terdiri dari 3 titik sondir. Hasil pada TS1 diketahui kedalaman tanah keras diprediksi pada kedalaman 6,20 m dengan hasil q_c sebesar 260 kg/cm², f_s sebesar 12 kg/cm² dan F_r sebesar 4,64%. Pada TS2 diketahui kedalaman tanah keras berada pada kedalaman 6,00 m dengan nilai q_c sebesar 220 kg/cm², f_s sebesar 12 kg/cm² dan F_r sebesar 5,45%. Hasil pada TS3 diketahui prediksi tanah keras berada pada kedalaman 6,40 m dengan hasil q_c sebesar 260 kg/cm², f_s sebesar 12 kg/cm² dan F_r sebesar 4,62%. Selanjutnya terkait kedalaman tanah keras dari ketiga titik pengujian sondir tidak menunjukkan selisih kedalaman yang sangat besar, dimana selisih kedalaman antara TS1 dengan TS2 sebesar 0,20 m, TS2 dengan TS3 sebesar 0,4 m dan TS1 dengan TS3 sebesar 0,20 m. Dilihat dari nilai q_c pada masing-masing titik yang menunjukkan nilai lebih dari 200 kg/cm², klasifikasi tanah yang dapat diprediksi pada area ini adalah jenis tanah pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat berdasarkan prediksi kedalaman tanah keras disetiap titiknya.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sondir Titik 1 Area 3

Area 3				TS 1
Depth	q_c	f_s	F_r	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	6,00	0,80	0,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	16,00	0,80	5,00	
0,60	16,00	1,40	8,75	
0,80	20,00	1,40	7,00	
1,00	20,00	1,60	8,00	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,20	20,00	1,60	8,00	
1,40	24,00	1,60	6,67	
1,60	24,00	2,20	9,17	
1,80	44,00	1,80	4,09	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan

Area 3				TS 1
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
2,00	40,00	4,00	10,00	
2,20	44,00	3,60	8,18	
2,40	48,00	3,40	7,08	
2,60	40,00	4,20	10,50	
2,80	44,00	4,60	10,45	
3,00	46,00	5,40	11,74	
3,20	50,00	5,00	10,00	
3,40	40,00	5,00	12,50	
3,60	40,00	4,00	10,00	
3,80	40,00	6,00	15,00	
4,00	50,00	7,00	14,00	
4,20	40,00	6,00	15,00	
4,40	40,00	6,00	15,00	
4,60	40,00	6,00	15,00	
4,80	40,00	6,00	15,00	
5,00	50,00	9,00	18,00	
5,20	40,00	8,00	20,00	
5,40	60,00	8,00	13,33	
5,60	100,00	6,00	6,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
5,80	100,00	12,00	12,00	
6,00	200,00	14,00	7,00	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
6,20	260,00	12,00	4,62	

Tabel 9. Hasil Pengujian Sondir Titik 2 Area 3

Area 3				TS 2
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	10,00	0,80	8,00	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
0,40	40,00	4,00	10,00	
0,60	32,00	2,20	6,88	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
0,80	32,00	3,60	11,25	
1,00	32,00	5,00	15,63	
1,20	30,00	4,00	13,33	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,40	30,00	4,40	14,67	
1,60	32,00	4,20	13,13	
1,80	32,00	5,80	18,13	
2,00	32,00	5,80	18,13	
2,20	40,00	6,00	15,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
2,40	40,00	6,00	15,00	
2,60	40,00	6,00	15,00	
2,80	40,00	8,00	20,00	
3,00	80,00	10,00	12,50	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
3,20	60,00	6,00	10,00	
3,40	40,00	8,00	20,00	
3,60	40,00	8,00	20,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
3,80	60,00	8,00	13,33	
4,00	80,00	12,00	15,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
4,20	60,00	12,00	20,00	
4,40	60,00	8,00	13,33	
4,60	60,00	6,00	10,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
4,80	60,00	8,00	13,33	
5,00	100,00	10,00	10,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil

Area 3				TS 2
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
5,20	80,00	10,00	12,50	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
5,40	80,00	12,00	15,00	
5,60	100,00	12,00	12,00	
5,80	200,00	14,00	7,00	
6,00	220,00	12,00	5,45	

Tabel 10. Hasil Pengujian Sondir Titik 3 Area 3

Area 3				TS 3
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	6,00	0,60	0,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	14,00	1,00	7,14	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
0,60	20,00	1,20	6,00	
0,80	20,00	1,60	8,00	
1,00	26,00	1,40	5,38	
1,20	24,00	1,80	7,50	
1,40	24,00	2,20	9,17	
1,60	26,00	2,40	9,23	
1,80	30,00	3,20	10,67	
2,00	36,00	4,20	11,67	
2,20	40,00	4,60	11,50	
2,40	40,00	4,60	11,50	
2,60	40,00	5,00	12,50	
2,80	40,00	5,60	14,00	
3,00	50,00	5,00	10,00	
3,20	60,00	6,00	10,00	
3,40	40,00	6,00	15,00	
3,60	40,00	4,00	10,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
3,80	40,00	6,00	15,00	
4,00	60,00	6,00	10,00	
4,20	40,00	6,00	15,00	
4,40	46,00	5,00	10,87	
4,60	40,00	6,00	15,00	
4,80	40,00	6,00	15,00	
5,00	40,00	8,00	20,00	
5,20	40,00	10,00	25,00	
5,40	60,00	10,00	16,67	
5,60	80,00	8,00	10,00	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
5,80	120,00	8,00	6,67	
6,00	200,00	12,00	6,00	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
6,20	220,00	12,00	5,45	
6,40	260,00	12,00	4,62	

Tabel 11. Hasil Pengujian Sondir Titik 1 Area 4

Area 4				TS 1
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	5,00	0,50	10,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	10,00	0,50	5,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
0,60	10,00	0,60	6,00	

Area 4				TS 1
Depth (Meter)	qc [kg/cm ²]	fs [kg/cm ²]	Fr (%)	Klasifikasi Tanah
0,80	10,00	0,80	8,00	
1,00	20,00	1,80	9,00	
1,20	20,00	2,60	13,00	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,40	24,00	4,60	19,17	
1,60	40,00	3,60	9,00	
1,80	40,00	5,00	12,50	
2,00	40,00	6,00	15,00	
2,20	40,00	8,00	20,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
2,40	60,00	6,00	10,00	
2,60	60,00	12,00	20,00	
2,80	60,00	8,00	13,33	
3,00	90,00	11,00	12,22	
3,20	90,00	9,00	10,00	
3,40	90,00	11,00	12,22	
3,60	90,00	13,00	14,44	
3,80	100,00	16,00	16,00	
4,00	90,00	11,00	12,22	
4,20	90,00	11,00	12,22	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
4,40	90,00	13,00	14,44	
4,60	90,00	13,00	14,44	
4,80	120,00	18,00	15,00	
5,00	90,00	15,00	16,67	
5,20	90,00	13,00	14,44	
5,40	100,00	16,00	16,00	
5,60	160,00	10,00	6,25	Pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
5,80	200,00	14,00	7,00	

Tabel 12. Hasil Pengujian Sondir Titik 2 Area 4

Area 4				TS 2
Depth (Meter)	qc [kg/cm ²]	fs [kg/cm ²]	Fr (%)	Klasifikasi Tanah
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	5,00	0,50	10,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	10,00	0,50	5,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
0,60	10,00	0,80	8,00	
0,80	20,00	2,00	10,00	
1,00	40,00	4,00	10,00	
1,20	30,00	4,00	13,33	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,40	30,00	4,00	13,33	
1,60	30,00	4,40	14,67	
1,80	24,00	5,60	23,33	
2,00	40,00	6,00	15,00	
2,20	40,00	6,00	15,00	
2,40	40,00	6,00	15,00	
2,60	40,00	8,00	20,00	
2,80	60,00	6,00	10,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
3,00	60,00	8,00	13,33	
3,20	40,00	10,00	25,00	
3,40	40,00	10,00	25,00	
3,60	40,00	12,00	30,00	
3,80	60,00	12,00	20,00	
4,00	80,00	12,00	15,00	
4,20	80,00	10,00	12,50	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil

Area 4				TS 2
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
4,40	80,00	10,00	12,50	
4,60	80,00	12,00	15,00	
4,80	80,00	12,00	15,00	
5,00	100,00	14,00	14,00	
5,20	100,00	14,00	14,00	
5,40	100,00	14,00	14,00	
5,60	100,00	16,00	16,00	
5,80	100,00	16,00	16,00	
6,00	160,00	12,00	7,50	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
6,20	160,00	12,00	7,50	
6,40	140,00	10,00	7,14	
6,60	140,00	10,00	7,14	Kerikil kepasiran/pasir padat/lempung kelanauan/lempung kerikil
6,80	140,00	12,00	8,57	
7,00	160,00	14,00	8,75	
7,20	200,00	14,00	7,00	Pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
7,40				

Tabel 13. Hasil Pengujian Sondir Titik 3 Area 4

Area 4				TS 3
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
0,00	0,00	0,00	0,00	Tidak ada
0,20	5,00	0,50	10,00	Humus, lempung sangat lunak
0,40	10,00	0,50	5,00	Pasir kelanauan/pasir lepas/lempung lembek/lempung kelanauan
0,60	10,00	0,80	8,00	
0,80	10,00	0,80	8,00	
1,00	20,00	1,60	8,00	Kerikil Lepas/pasir lepas/lempung kelanauan
1,20	20,00	3,00	15,00	
1,40	30,00	2,80	9,33	
1,60	30,00	2,80	9,33	
1,80	30,00	2,80	9,33	
2,00	40,00	4,00	10,00	
2,20	30,00	4,00	13,33	
2,40	30,00	4,00	13,33	
2,60	36,00	4,00	11,11	
2,80	40,00	5,00	12,50	
3,00	40,00	6,00	15,00	Pasir kelanauan/pasir agak padat/lempung/lempung kelanauan
3,20	40,00	6,00	15,00	
3,40	40,00	6,00	15,00	
3,60	40,00	6,00	15,00	
3,80	40,00	6,00	15,00	
4,00	50,00	7,00	14,00	
4,20	50,00	7,00	14,00	
4,40	50,00	7,00	14,00	
4,60	60,00	6,00	10,00	
4,80	60,00	6,00	10,00	
5,00	60,00	6,00	10,00	
5,20	60,00	8,00	13,33	
5,40	60,00	8,00	13,33	
5,60	60,00	8,00	13,33	
5,80	60,00	8,00	13,33	
6,00	60,00	8,00	13,33	
6,20	60,00	8,00	13,33	

Area 4				TS 3
Depth	qc	fs	Fr	Klasifikasi Tanah
(Meter)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	(%)	
6,40	60,00	8,00	13,33	pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat
6,60	60,00	10,00	16,67	
6,80	60,00	10,00	16,67	
7,00	160,00	14,00	8,75	
7,20	160,00	14,00	8,75	
7,40	220,00	14,00	6,36	

Hasil pengujian sondir pada area 4 yang berada pada bagian selata-barat kampus 1 UM dan lebih tepatnya pada lokasi sekitar kantin Fakultas Ilmu Pendidikan dan terdiri dari 3 titik sondir. Hasil pada TS1 diketahui kedalam tanah keras diprediksi dikedalaman 5,80 m dengan hasil q_c sebesar 200 kg/cm², f_s sebesar 14 kg/cm² dan F_r sebesar 7%. Pada TS2 diketahui kedalam tanah keras berada pada kedalaman 7,20 m dengan nilai q_c sebesar sebesar 200 kg/cm², f_s sebesar 14 kg/cm² dan F_r sebesar 7%. Hasil pada TS3 diketahui prediksi tanah keras berada pada kedalaman 7,40 m dengan hasil q_c sebesar 220 kg/cm², f_s sebesar 14 kg/cm² dan F_r sebesar 6,36%. Hasil analisis data menunjukkan adanya prediksi kedalaman tanah keras antara TS1 dengan TS2 dan TS3 terdapat selisih kedalaman yang cukup besar, namun pada masing-masing titik sondir tersebut klasifikasi tanah pada kedalaman tanah keras memiliki kesamaan yakni termasuk pada pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa (a) kedalaman tanah keras yang ada di kampus 1 Universitas Negeri Malang berada pada rentang antara 4,60 m sampai dengan 8,40 m, (b) rata-rata nilai q_c untuk area 1 kampus 1 UM sebesar 233,33 kg/cm², rata-rata nilai q_c area 2 sebesar 260 kg/cm², rata-rata nilai q_c area 3 sebesar 246,67 kg/cm², dan rata-rata nilai q_c area 4 sebesar 206,67 kg/cm², (c) klasifikasi tanah yang terdapat di kampus 1 UM termasuk pada jenis tanah pasir padat/pasir kerikilan/pasir kasar/pasir kelanauan sangat padat pada setiap kedalaman tanah keras yang diambil berdasarkan nilai q_c . Melihat kesimpulan tersebut, terkait desain pondasi dalam rangka proses konstruksi bangunan gedung di kampus 1 UM maka pondasi dapat didesain minimal mencapai kedalaman tanah keras sesuai dengan letak bangunan di beberapa area yang ada. Selain itu, disarankan untuk melakukan perhitungan yang lebih mendalam terkait penentuan jenis pondasi yang dapat digunakan.

REFERENSI

- [1] ----- . Statistik UM. <https://statistik.um.ac.id/>. Diakses tanggal 15 Januari 2024.
- [2] Hardiyatmo, H, C. 2010. Analisis dan Perancangan Pondasi Bagian II. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- [3] Rahardjo, P, P. 2008. Penyelidikan Geoteknik dengan Uji In-situ. GEC Universitas Kristen Parahyangan. Bandung.
- [4] Achmad, F. 2012. Pemetaan Kapasitas Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir di Kota Gorontalo. Laporan Penelitian Dana PNBPN UNG, Gorontalo.
- [5] H. Sangadi and D. Safitri, "Perlawanan Tanah Terhadap Conus dan Hambatan Tanah (Pengujian Sondir)," 2021.
- [6] M. Martinelli and V. Galavi, "Investigation of the Material Point Method in the simulation of Cone Penetration Tests in dry sand," *Comput Geotech*, vol. 130, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.compgeo.2020.103923.
- [7] Das, Braja M. Principle of Geotechnical Engineering (7th ed). USA: Cengage Learning, 2010.
- [8] R. Yudiana, A. Alaydrus, and S. Minardi, "Korelasi Hambatan Jenis dan Hambatan Konus untuk Identifikasi Zona Lemah Di Desa Sekotong Barat, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat," 2020.

- [9] H. Asnur and R. Fardela, "Soil Investigation Berdasarkan Uji Sondir Di Kecamatan Harau Kabupaten Lima Puluh Kota," *Rang Teknik Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 69–76, Jan. 2022, doi: 10.31869/rtj.v5i1.2735.
- [10] Bahri, S., Razali, M. R., & Elsandy, K. A. 2016. Pemetaan Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Dangkal Di Wilayah Pesisir Pantai Kota Bengkulu. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 49-58
- [11] H. Asnur, R. Yunita, and Dilson, "Analisis Daya Dukung Tanah Pembangunan Pondok Pesantren Ribat As Sya'adi Taeh Baruah Kabupaten Lima Puluh Kota," vol. 4, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.ensiklopediaku.org>
- [12] R. A. Sidabutar, Y. Saragi, and J. Situmorang, "Korelasi Hambatan Konus Dengan California Bearing Ratio Lapangan Pada Tanah Lempung," vol. 4, no. 2, 2023
- [13] SNI 2827. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan lat Sondir. Indonesia : Penerbit Badan Standart Nasional.